

Рис. 2. Результаты расчетов

Из рисунка видно, что эксергетический КПД компрессора вырос на 1...7,5 % в зависимости от степени повышения давления. Таким образом, использование теплоты сжатия позволяет повысить эффективность компрессорной установки, а в случае использования теплоты в АХМ значительно сократить затраты на сжатие.

#### Список использованных источников

1. Исследование потенциала энергосбережения при использовании теплоты сжатия в АХМ / Р. В. Бабин, Л. М. Рахимова, Ю. К. Демин, С. В. Картавцев // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: тезисы докладов XXI междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов, 26-27 февраля 2015 года. М. : МЭИ, 2015. 160 с.

УДК 624.9(07)

Рязанова Е. Д., Беляков В. А., Носков А. С., Хорошавин Л. Б.  
Уральский федеральный университет  
9222283482@mail.ru

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА COMSOL MULTIPHYSICS ДЛЯ РЕШЕНИЯ ВОПРОСОВ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЗДАНИЙ

**Аннотация.** В работе рассматриваются теоретические и практические вопросы применения программного комплекса COMSOL Multiphysics при проектировании энергосберегающих конструкций, обобщается накопленный опыт. Излагается алгоритм использования программы, позволяющий освоить тонкости работы и получить расчетные данные, необходимые для принятия технических

решений по конструированию ограждающих конструкций и сложных узлов, содержащих теплопроводные включения. Рассмотрены теоретические основы и практические приемы работы в программном комплексе с учетом требований современной нормативно-технической документации.

В настоящее время для проектирования энергоэффективных зданий и сооружений используют нормативные документы, одним из которых является СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий (актуализация СНиП 23-02-2003). Данный документ гласит, что теплозащитная оболочка здания должна отвечать следующим требованиям:

- а) поэлементным;
- б) комплексным;
- в) санитарно-гигиеническим.

Под поэлементным требованием подразумевается, что приведенное сопротивление теплопередаче отдельных ограждающих конструкций должно быть не меньше нормируемых СП значений, под комплексным требованием то, что удельная теплозащитная характеристика здания должна быть не больше нормируемого значения; санитарно-гигиеническое требование – температура на внутренних поверхностях ограждающих конструкций должна быть не ниже минимально допустимых значений.

Данный подход позволяет предлагать конструктивы, сбалансированные с точки зрения стоимости и энергоэффективности. Применение методик СП требует, нередко, проводить не только обобщенный анализ конструкций, но и выполнять сложные расчеты с использованием температурных полей, которые позволят увидеть работу отдельных элементов конструкций, а так же сложных узлов и стыков различных конструкций с разными теплотехническими свойствами. Наличие этих данных позволяет более грамотно и, следовательно, более эффективно и экономично распределять средства тепловой защиты в зданиях и сооружениях, кроме того эти данные позволяют не только сэкономить средства, но и увеличить комфорт проживания или работы людей в этом здании, а также обеспечить долговечность и надежность конструкций.

Расчет нормативных показателей не даёт нам увидеть работу отдельных элементов конструкций, а также сложных узлов и стыков разнородных материалов с разными теплотехническими свойствами. Для получения полной картины работы тепловой защиты здания, мы применяем компьютерные 3D модели, которые позволяют выполнить моделирование отдельных узловых элементов здания, обеспечат возможность увидеть работу тепловой защиты в любой точке конструкции [1]. Помимо этого работа с компьютерными моделями позволяет значительно сэкономить время на расчет конструкций, а так же расширяет возможности экспериментирования с материалами и условиями их работы.

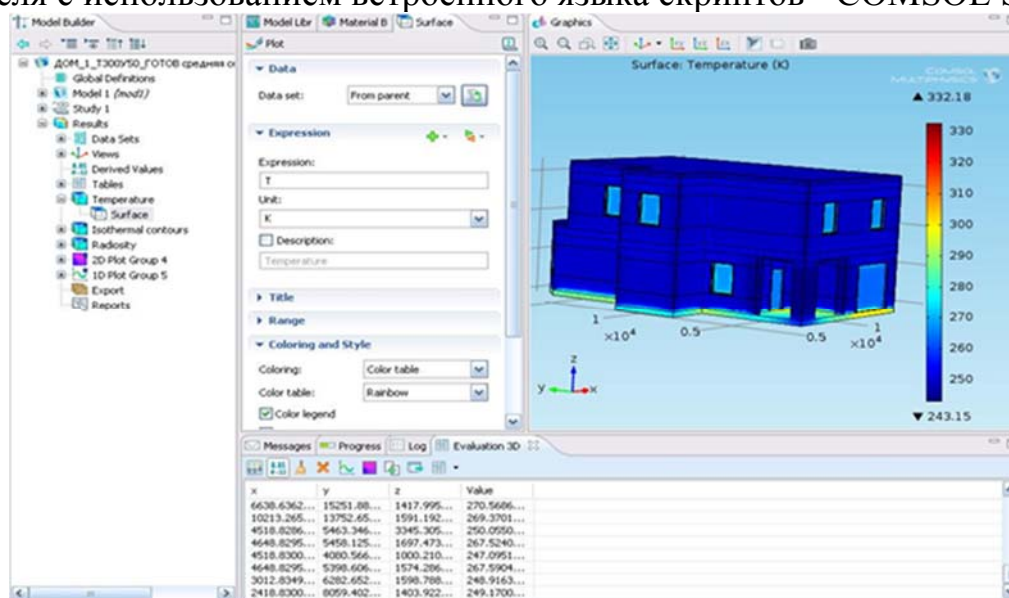
Кафедрой САПР ОС совместно с кафедрой Городское строительство Строительного института УрФУ подготовлены методические указания [2] и учебно-методическое пособие, посвященные тематике теплотехнических расчетов строительных конструкций для повышения энергоэффективности зданий с использованием новых возможностей программного комплекса COMSOL Multiphysics версий 5.0 и выше.

COMSOL Multiphysics – это современный программный комплекс, включающий интерактивную среду для моделирования и расчетные модули, позволяющие проводить расчетную оценку большинства научных и инженерных задач, основанных на дифференциальных уравнениях в частных производных (PDE) методом конечных элементов.

Образец стационарного теплотехнического расчета 3D-модели здания с использованием данного программного комплекса показан ниже (рисунок).

Применение расчетных модулей не требует глубокого знания математической физики и метода конечных элементов – этот подход реализован благодаря встроенным физическим режимам, где коэффициенты PDE задаются в виде понятных физических свойств и условий, таких как: теплопроводность, теплоемкость, коэффициент теплоотдачи, объемная мощность и т.п. в зависимости от выбранного физического раздела [3]. Преобразование этих параметров в коэффициенты математических уравнений происходит автоматически.

Взаимодействие с программой можно реализовать в стандартном для среды MS Windows графическом интерфейсе, кроме того, комплекс предлагает возможность создания дополнительных функций, отвечающих требованиям пользователя с использованием встроенного языка скриптов - COMSOL Script.



Окно с результатами теплотехнического стационарного 3D расчета

Для решения PDE COMSOL Multiphysics использует метод конечных элементов (FEM). Расчетные модули позволяют применять гибкий подход к конфигурации, типу и характеристикам конечного элемента, учитывая геометрическую конфигурацию тел. Так как многие физические законы выражаются в форме PDE, становится возможным моделировать широкий спектр научных и инженерных явлений из многих областей физики, таких как: акустика, гидро- и термодинамика, сложные диффузии, электрические и электромагнитные явления, оптические эффекты, тепломассоперенос и многих других.

Предлагаемая сотрудниками кафедры САПР ОС и кафедры Городского строительства Строительного института УрФУ методика теплотехнического расчета строительных конструкций на ПЭВМ с применением программного комплекса COMSOL Multiphysics может быть использована студентами при расчетах

в курсовом и дипломном проектировании, а также специалистами архитекторами в «реальном» проектировании для обеспечения требуемых энергосберегающих характеристик наружных ограждающих конструкций зданий и сооружений.

#### Список использованных источников

1. Антипин А. А., Крутицкая С. Е., Носков А. С., Юдина Е. В. К разработке расчетной модели температурно-влажностного режима помещений: подбор характеристик «твердого» воздуха // Строительство и образование. Строительные конструкции, основания и фундаменты: сб. научных трудов УГТУ-УПИ: Екатеринбург, 2007. Т. 2. Вып. № 10. С. 37-38.
2. Сальников В. Б., Беляков В. А. Теплотехнические расчеты строительных конструкций с использованием программного комплекса COMSOL Multiphysics : методические указания к курсовому и дипломному проектированию по курсу «Строительная теплотехника» / В. Б. Сальников, В. А. Беляков; Мин-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. университет. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2015. 40 с.
3. Pryor, Roger W. Multiphysics Modeling: Using COMSOL 5 and MATLAB / Roger W. Pryor. Mercury Learning & Information, LLC, 2015. 700 p.

УДК 658.262:621.771.2

Рязанов В. М., Марков Р. Н., Шарифуллина А. Р., Картавец С. В.  
Магнитогорский государственный технический университет  
ryazanov.vener@mail.ru, rus.mark@mail.ru, kartavzw@mail.ru

## РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНОЙ СХЕМЫ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОКАТНОГО КОМПЛЕКСА

**Аннотация.** В работе рассмотрен метод экономии сжигаемого природного газа, сжигаемого для выработки электрической энергии, расходуемой на прокатный комплекс.

В настоящее время прокатный комплекс обеспечивается электрической энергией из местных сетей, расходуемый на привод валков, а также природным газом для нагрева металла в методической печи. Электрическая энергия вырабатывается на местной ТЭЦ при сжигании природного газа с КПД около 40 %, которая передаётся по ЛЭП с потерями в местных сетях до 15 %.

Для прокатки, требуется электрическая энергия в количестве 96,025 кВт·ч/т металла из методической печи (среднее значение из табл. 1).

Таблица 1  
Эффективность электропотребления различных бригад ЛПЦ-4 ОАО «ММК»

Номер бригады	Уд. расход эл.эн, кВт·ч /т фактический
1	93,1
2	91,4
3	102,2
4	97,4
Среднее значение	96,025